



PATENT  
81863.0024

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of:

Shuzo IWASHITA, et al.

Serial No: 10/722,157

Filed: November 25, 2003

For: PIEZOELECTRIC CERAMICS AND  
METHOD OF MANUFACTURING  
THE SAME, ACTUATOR AND  
METHOD OF MANUFACTURING  
THE SAME, PRINTING HEAD AND  
INK JET PRINTER

Art Unit: Not assigned

Examiner: Not assigned

I hereby certify that this correspondence  
is being deposited with the United States  
Postal Service with sufficient postage as  
first class mail in an envelope addressed  
to:

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450, on  
February 19, 2004

Date of Deposit

Rebecca L. Golden

Name

February 19, 2004

Signature

Date

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Japanese patent application No. 2002-341460 which was filed November 25, 2002 and Japanese patent application No. 2003-133743 which was filed May 12, 2003, from which priority is claimed under 35 U.S.C. § 119 and Rule 55.

Acknowledgment of the priority document(s) is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

HOGAN & HARTSON L.L.P.

Date: February 19, 2004

By:

Lawrence J. McClure

Registration No. 44,228

Attorney for Applicant(s)

500 South Grand Avenue, Suite 1900  
Los Angeles, California 90071  
Telephone: 213-337-6700  
Facsimile: 213-337-6701

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 1 月 2 5 日  
Date of Application:

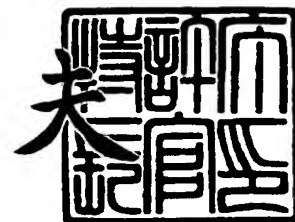
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 4 1 4 6 0  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 2 - 3 4 1 4 6 0 ]

出      願      人                      京セラ株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    9 月 1 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 27863

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B41J 2/045

【発明者】

    【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 4 号 京セラ株式会社総合研  
    究所内

    【氏名】 岩下 修三

【発明者】

    【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 4 号 京セラ株式会社総合研  
    究所内

    【氏名】 半田 真一

【特許出願人】

    【識別番号】 000006633

    【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

    【氏名又は名称】 京セラ株式会社

    【代表者】 西口 泰夫

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 005337

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アクチュエータ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電磁器からなる圧電基板と、該圧電基板の主面の一部に設けられた表面電極と、該圧電基板の内部に設けられた内部電極とを具備してなるアクチュエータであって、全体の厚みが $100\mu\text{m}$ 以下、前記圧電基板の主面の平坦度が $20\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項2】 前記圧電基板の主面の表面粗さ $R_a$ が $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載のアクチュエータ。

【請求項3】 前記圧電磁器が少なくとも $Pb$ を含むペロブスカイト型化合物であることを特徴とする請求項1又は2記載のアクチュエータ。

【請求項4】 前記圧電磁器に含まれるカーボンが $0.1$ 質量%以下であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項5】 圧電体粉末からなる成形体を、表面部の気孔率が $1\%$ 以下、平坦度が $20\mu\text{m}$ 以下の主面を有する支持体の該主面に接触させながら焼成することを特徴とするアクチュエータの製造方法。

【請求項6】 前記支持体の主面の表面粗さ $R_a$ が $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項5のアクチュエータの製造方法。

【請求項7】 前記成形体を一對の前記支持体で挟持するように配置して焼成することを特徴とする請求項5又は6記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項8】 前記成形体が複数であって、該成形体と前記支持体とを交互に複数積み重ねて配置して焼成することを特徴とする請求項5乃至7のいずれかに記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項9】 前記支持体が、アルミナ、ベリリア、ジルコニア、マグネシア、ムライト、スピネル、ビスマス層状化合物、タングステンブロンズ構造化合物、 $Pb$ 系ペロブスカイト構造化合物、ニオブ系ペロブスカイト構造化合物及びタンタル系ペロブスカイト構造化合物のうち少なくとも1種を含有することを特徴とする請求項5乃至8のいずれかに記載のアクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、アクチュエータ及びその製造方法に関し、例えば、燃料噴射用インジェクター用アクチュエータ、インクジェットプリンタヘッド用アクチュエータ、圧電共振子、発振器、超音波モータ、加速度センサ、ノッキングセンサ、又は A E センサ等の圧電センサに適し、特に、広がり振動、伸び振動、厚みたて振動を利用したインクジェットプリンタヘッド用アクチュエータとして好適に用いられるアクチュエータ及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

## 【従来技術】

従来から、圧電磁器を利用した製品としては、例えば、アクチュエータ、フィルタ、圧電共振子（発振子を含む）、超音波振動子、超音波モータ、圧電センサ等がある。

## 【0003】

これらの中で、アクチュエータは、電気信号に対する応答速度が  $10^{-6}$  秒台と非常に高速であるため、半導体製造装置の X Y ステージの位置決め用アクチュエータやインクジェットプリンタのインク吐出用アクチュエータ等に応用されている。

## 【0004】

従来、このような用途に用いられる圧電磁器は、厚みが数百  $\mu\text{m}$  のセラミックグリーンシートを、多孔質焼結体からなる一対のセッターに直接挟むように配置して焼成することによって作製されていた。

## 【0005】

また、多孔質体からなるセッター台の上にスペーサを配置し、該スペーサの上に多孔質体からなるセッター蓋を載せることによって形成される空間にグリーンシートを配置し、該グリーンシートと前記セッター蓋の隙間が  $30 \sim 100 \mu\text{m}$  となるように空間を設けた状態で焼成することによって焼結体の平坦度を  $30 \sim 100 \mu\text{m}$  に調整することが提案されている（例えば、特許文献 1）。

## 【0006】

このようにして得られたセラミックス体を圧電体に応用すると、磁器の平滑度を一定値以下に確保できるため、アクチュエータをプリンタ内に固定するため金属板などの平面上に固定する際の破損を回避できるという特徴を有しており、インクジェットプリンタ用のプリンタヘッド、又はXYステージ位置決め用アクチュエータ等として好適に使用されている。

#### 【0007】

#### 【特許文献1】

特開2000-281453号公報(図3)

#### 【0008】

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、多孔質体でグリーンシートを挟持するように配置して焼成する方法では、気孔を介して蒸発しやすい成分が揮発し、特に厚みが $100\mu\text{m}$ 以下のアクチュエータを得る場合、組成の面内バラツキが大きくなると共に、多孔質体の表面状態を制御し難くいため、得られた圧電磁気の平坦度が大きくなり、またセッターから脱粒した粒子の付着によりさらに焼結体の平坦度や表面粗さが大きくなった。

#### 【0009】

また、特許文献1に記載された薄層グリーンシートの焼成方法はセッターとグリーンシート間の隙間が少なくとも $30\mu\text{m}$ はあり、厚みが $100\mu\text{m}$ 以下のアクチュエータを得る場合、厚みに対して磁器の平坦性が大きくなった。

#### 【0010】

このように平坦度が大きい場合には、支持基板へアクチュエータを固定する際に、圧電磁器の曲面状態を平面状態に矯正するように圧電磁器が伸ばされるため、圧電基板内に不均一な残留応力が発生する。特に、圧電基板上に複数の変位素子を設けた、厚みが $100\mu\text{m}$ 以下のアクチュエータの場合、そのd定数が変位素子によって大きく変動するという問題があった。

#### 【0011】

従って、本発明の目的は、平坦度が小さく、支持基板に接合してもd定数の面内バラツキが小さいアクチュエータ及びその製造方法を提供することにある。

## 【0012】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は、表面が緻密で平坦な支持体にグリーンシートを接触させながら、特に、支持体でグリーンシートを挟みながら、焼成することにより、グリーンシートの変形を抑制することができ、且つグリーンシートからの蒸発を抑制することができるという知見に基づくもので、この方法により、平坦度が小さく、支持基板に接合しても d 定数の面内バラツキが小さいアクチュエータを実現できる。

## 【0013】

即ち、本発明の圧電体は、圧電磁器からなる圧電基板と、該圧電基板の主面の一部に設けられた表面電極と、該圧電基板の内部に設けられた内部電極とを具備してなるアクチュエータであって、全体の厚みが  $100\ \mu\text{m}$  以下、前記圧電基板の主面の平坦度が  $20\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とするものである。

## 【0014】

特に、前記圧電基板の主面の表面粗さ  $R_a$  が  $3\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。これにより、圧電磁器をアクチュエータとして金属板等に固定する際に矯正によるアクチュエータの変形量をさらに低減できるため、アクチュエータ内部に発生する残留応力を更に抑制することができ、その結果、支持基板に固定してもアクチュエータの d 定数の面内バラツキを効果的に低減することができる。

## 【0015】

前記圧電磁器が少なくとも Pb を含むペロブスカイト型化合物であることが好ましい。これにより、変位が大きく、低電圧で駆動が可能なアクチュエータを作製することができ、その結果、プリンタの高速化、高精度化、低コスト化に対して更なる寄与を望むことができる。

## 【0016】

前記圧電磁器に含まれるカーボンが 0.1 質量% 以下であることが好ましい。これにより、圧電磁器の絶縁性を確保することができ、分極処理時の変位不良を防止できる。

## 【0017】

また、本発明のアクチュエータの製造方法は、圧電体粉末からなる成形体を、

表面部の気孔率が1%以下、平坦度が $20\mu\text{m}$ 以下の主面を有する支持体の該主面に接触させながら焼成することを特徴とするものであり、これにより、上記のアクチュエータを作製することができる。

#### 【0018】

さらに、前記支持体の主面の表面粗さ $R_a$ が $3\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これにより、焼成後の圧電磁器の平坦度を更に向上させて残留応力を低減し、組成バラツキも抑制することができる。

#### 【0019】

さらにまた、前記成形体を一对の前記支持体で挟持するように配置して焼成することが好ましい。これにより、圧電磁器の厚みが $100\mu\text{m}$ 以下の薄肉の圧電磁器でも $20\mu\text{m}$ 以下の平坦度を容易に得ることができる。

#### 【0020】

また、前記成形体が複数であって、該成形体と前記支持体とを交互に複数積み重ねて配置して焼成することが好ましい。これにより、圧電磁器の平坦性が向上するばかりでなく、炉内の鉛雰囲気が安定に形成できるため、基板の圧電特性の分布が安定化し、基板内での $d$ 定数のバラツキをより低減することができる。

#### 【0021】

さらに、前記支持体が、アルミナ、ベリリア、ジルコニア、マグネシア、ムライト、スピネル、ビスマス層状化合物、タングステンブロンズ構造化合物、Pb系ペロブスカイト構造化合物、ニオブ系ペロブスカイト構造化合物及びタンタル系ペロブスカイト構造化合物のうち少なくとも1種を含有することが好ましい。これにより、グリーンシートとの反応性を抑制することができる。

#### 【0022】

##### 【発明の実施の形態】

本発明を、図を用いて説明する。

#### 【0023】

本発明のアクチュエータ1は、図1(a)に示したように、圧電磁器からなる圧電基板2と、圧電基板2の内部に設けられた内部電極5と、圧電基板2の主面の一部に設けられた表面電極6とを具備しており、圧電基板2の表面部に形成さ



れた圧電振動層 4 と内部電極 5 と表面電極 6 とで変位素子 7 が構成される。

#### 【0024】

そして、アクチュエータは、例えば図 1 (b) に示したように、表面電極 6 が等間隔で 2 次元的に配列され、それぞれ外部の電子制御回路に独立して接続され、それぞれの電極間に電圧が印加されると、電圧が印加された内部電極 5 と表面電極 6 に挟持された部位の圧電振動層 4 が変位することができる。このように、各変位素子 7 を独立して制御した印刷ヘッドに応用することにより、インクジェットプリンタの高速化及び高精度化に寄与することが可能である。

#### 【0025】

本発明によれば、アクチュエータ 1 の厚み  $T$  は、表面電極 6 を含めた圧電基板 2 の厚みを示すものであり、 $T$  が  $100\ \mu\text{m}$  以下であることが重要である。このように薄層にすることで、大きな変位を得ることができ、また低電圧で高効率の駆動を実現できる。従って、特に最近のカラープリンタの性能向上に伴う高速化及び高精度化の要求に対して、本発明においては、 $100\ \mu\text{m}$  以下の厚みにすることにより、その要求に対応することができ、アクチュエータ及びそれを用いた印刷ヘッドの高性能化に寄与することができる。特に、アクチュエータ 1 としての特性をさらに高めるため、 $80\ \mu\text{m}$  以下、更には  $65\ \mu\text{m}$  以下、より好適には  $50\ \mu\text{m}$  以下が良い。

#### 【0026】

また、アクチュエータ 1 の厚み  $T$  の下限値は、十分な機械的強度を有し、取扱い及び作動中の破壊を防止するため、 $3\ \mu\text{m}$ 、特に  $5\ \mu\text{m}$ 、更には  $10\ \mu\text{m}$ 、より好適には  $20\ \mu\text{m}$  であることが好ましい。

#### 【0027】

圧電基板 2 の表面の平坦度、即ち圧電振動層 4 の主面の平坦度が  $20\ \mu\text{m}$  以下であることも重要である。平坦度を  $20\ \mu\text{m}$  以下、特に  $15\ \mu\text{m}$  以下、更には  $10\ \mu\text{m}$  以下にすることで、例えば図 1 (c) に示したように、溝 3 a が隔壁 3 b によって形成されてなる支持基板 3 に、表面が平坦な本発明のアクチュエータ 1 を接合しても、接合に伴うアクチュエータ 1 の変形が小さく、残留応力を低減できるため、変位素子毎の特性バラツキを低減することができる。

## 【0028】

圧電基板 2 の表面粗さ  $R_a$  は、 $3\mu\text{m}$  以下、特に  $2.5\mu\text{m}$  以下、更には  $2\mu\text{m}$  以下であることが好ましい。表面粗さ  $R_a$  が小さいと、圧電体をアクチュエータとして金属基板等に固定する際にアクチュエータの微細な変形も防止することが容易で、残留応力の低減効果を高めることができる。また、表面凹凸を介して蒸発成分が揮発するのを抑制し、組成バラツキをより一層低減する効果がある。

## 【0029】

圧電振動層 4 を含む圧電基板 2 は、圧電性を示すセラミックスを用いることができ、具体的には、 $\text{Bi}$  層状化合物、タングステンブロンズ構造物質、 $\text{Nb}$  酸アルカリ化合物のペロブスカイト構造化合物、マグネシウムニオブ酸鉛（ $\text{PMN}$  系）、ニッケルニオブ酸鉛（ $\text{PNN}$  系）、 $\text{Pb}$  を含有するジルコン酸チタン酸鉛（ $\text{PZT}$ ）やチタン酸鉛等を含有する物質を例示できる。

## 【0030】

これらのうち、特に、少なくとも  $\text{Pb}$  を含むペロブスカイト型化合物であるのが良い。例えば、マグネシウムニオブ酸鉛（ $\text{PMN}$  系）、ニッケルニオブ酸鉛（ $\text{PNN}$  系）、 $\text{Pb}$  を含有するジルコン酸チタン酸鉛（ $\text{PZT}$ ）やチタン酸鉛等を含有する物質が好ましい。このような組成にすることで、高い圧電定数を有する圧電振動層 4 が得られる。

## 【0031】

特に、上記ペロブスカイト型結晶の一例として、 $\text{A}$  サイト構成元素として  $\text{Pb}$  を含有し、且つ、 $\text{B}$  サイト構成元素として  $\text{Zr}$  及び  $\text{Ti}$  を含有する結晶である  $\text{PbZrTiO}_3$  を好適に使用できる。また、他の酸化物を混合しても良く、さらに、副成分として、特性に悪影響がない範囲であれば、 $\text{A}$  サイト及び／又は  $\text{B}$  サイトに他元素が置換しても良い。例えば、副成分として  $\text{Zn}$ 、 $\text{Sb}$ 、 $\text{Ni}$  及び  $\text{Te}$  を添加し、 $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3$  及び  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Te}_{1/2})\text{O}_3$  の固溶体であっても良い。

## 【0032】

本発明によれば、上記ペロブスカイト型結晶における  $\text{A}$  サイト構成元素として、さらにアルカリ土類元素を含有することが望ましい。アルカリ土類元素として

はBa、Sr、Caなどが有り、特にBa、Srが高い変位を得られる点で好ましい。これにより、比誘電率が向上する結果、さらに高い圧電定数を示すことが可能となる。

#### 【0033】

具体的には、 $Pb_{1-x-y}Sr_xBa_y(Zn_{1/3}Sb_{2/3})_a(Ni_{1/2}Te_{1/2})_bZr_{1-a-b-c}Ti_cO_3 + \alpha$  質量%  $Pb_{1/2}NbO_3$  ( $0 \leq x \leq 0.14$ 、 $0 \leq y \leq 0.14$ 、 $0.05 \leq a \leq 0.1$ 、 $0.002 \leq b \leq 0.01$ 、 $0.44 \leq c \leq 0.50$ 、 $\alpha = 0.1 \sim 1.0$ ) で表される化合物を例示できる。

#### 【0034】

圧電基板2、特に圧電振動層4は、カーボンが0.1質量%以下、特に0.07質量%以下であることが好ましい。カーボンは圧電体の絶縁性に関与し、分極時の絶縁不良の原因になるため、上記の範囲に抑制することにより、分極時に電流が流れることを抑制し、飽和分極状態まで分極できるため、分極不良による変位不良を防止することができる。

#### 【0035】

圧電基板2の気孔率が1%以下、特に0.5%以下、更には0.3%以下であることが好ましい。気孔率を低減させることによってアクチュエータ1の強度を高めるとともに、インクジェット印刷ヘッドとして用いる場合、磁器へのインクの染み込みによるインク漏れを効果的に抑制することが可能となる。

#### 【0036】

内部電極5、表面電極6の材質としては、導電性を有するものならば何れでも良く、Au、Ag、Pd、Pt、Cu、Alやそれらの合金などが用いられる。また、電極5及、6の厚みとしては、導電性を有し且つ変位を妨げない程度である必要があり、 $0.5 \sim 5 \mu m$ 、特に $1 \sim 3 \mu m$ 程度が好ましい。

#### 【0037】

本発明のアクチュエータをインクジェットプリンタの印刷ヘッドとして用いる場合、圧電歪定数として、例えば $d_{31}$ モードを利用することができる。インクジェットプリンタの印刷ヘッドとして十分な吐出能力を発揮し、高速で精細な印刷を実現するために、 $d_{31}$ が $200 pm/V$ 以上、特に $225 pm/V$ 以上、更に

は  $250 \text{ pm/V}$  以上であることが好ましい。

#### 【0038】

次に、本発明のアクチュエータの製造方法について、圧電磁器として PZT を用いた場合を例として説明する。

#### 【0039】

まず、原料に用いる圧電体粉末として、純度 99%、平均粒子径  $1 \mu\text{m}$  以下の PZT 粉末を準備する。

#### 【0040】

この PZT 粉末に適当な有機バインダーを添加してテープ状に成形し、このテープの所望の部位に内部電極として Ag-Pd ペーストを塗布し、また所望の箇所にビアホールを形成すると共にビアホールの内部に電極を形成した。次いで、得られたグリーンシートを積層する。また、所望により、特定の形状に切断する。

#### 【0041】

積層して得られた成形体を、焼成するために、成形体を治具に搭載して焼成炉内に配置するが、その配置の一例を図 2 に示した。即ち、セッター 101 の上にスペーサ 102 を介して支持体 103a を載せ、その支持体 103a の上に成形体 105 を載置し、表面部の気孔率が 1% 以下、平坦度が  $20 \mu\text{m}$  以下の主面を有する支持体 103 と成形体 105 とを接触させることが重要である。

#### 【0042】

本発明は、支持体 103a の上に成形体 105 を載置してあれば、成形体 105 の上に何があっても良く、例えば、多孔質体を載せても良いが、支持体 103a と同様の主面を有する支持体 103b を載せて、成形体 105 を一対の支持体 103a、103b で挟持するように配置するのが、組成のバラツキを効果的に抑制でき、且つ  $20 \mu\text{m}$  以下の平坦度を容易に得られる点で好ましい。

#### 【0043】

本発明によれば、支持体 103a、103b が成形体 105 と接触する主面 104a、104b の平坦度が  $20 \mu\text{m}$  以下であることが重要である。支持体 103 は成形体 105 と接触するため、その接触する主面 104 を平坦にすることで

、成形体 105 を焼成して得られた焼結体の表面の平坦度を低減でき、表面が平坦な圧電磁器を得ることができる。特に、より平坦度の小さな焼結体を得るため、支持体 103 の主面の平坦度は  $15\ \mu\text{m}$  以下、更には  $10\ \mu\text{m}$  以下が好ましい。

#### 【0044】

また、本発明によれば、支持体 103 a、103 b が成形体 105 と接触する主面 104 a、104 b の表面部は、気孔率が 1 % 以下、更には 0.5 % 以下、更には 0.3 % 以下であることが重要である。気孔率がこのように小さい支持体 103 の主面 104 が緻密であると、脱粒が少なく、成形体表面に付着する粒子も減少し、焼結して得られた圧電磁器の平坦度及び表面粗さを改善することができる。

#### 【0045】

なお、表面部とは成形体との接触面を形成する主面 104 における表面を意味するが、気孔率を測定するためには研磨が必要なため、実際には研磨に必要な最低限の厚み、例えば数  $\mu\text{m}$  の厚みが必要であり、これを実質的に表面部と言う。

#### 【0046】

また、多孔質体からなる従来の支持体では、焼成中に成形体から揮発した成分が、支持体の連続した気孔を経由して外部へ飛散するのに対し、少なくとも主面 104 の表面部が緻密な支持体 103 を用いているため、揮発成分の飛散を顕著に抑制することが出来る。このように、成形体からの揮発成分の蒸発を抑制することで圧電特性の面内バラツキを更に改善できる。

#### 【0047】

支持体 103 a、103 b は、全体が緻密であるのが良い。このような緻密体は、表面を加工することによって低コストでの再生が可能である。又は、表面が緻密で内部が比較的気孔率が高い焼結体を使用することもできる。例えば、焼結時に内部よりも表面部で焼結が容易に進む場合、少なくとも表面から 0.1 mm、特に 0.3 mm、更には 0.5 mm の表面層の気孔率が 1 % 以下、特に 0.5 % 以下、更には 0.3 % 以下であるのが良い。

#### 【0048】

また、所望により表面だけを緻密にすることもできる。例えば、表面の気孔率が2～8%程度のセラミック焼結体表面を研磨加工し、セラミック層を被覆することにより、支持体103a、103bの主面104a、104bを0.1%以下の気孔率にすることができる。特に、CVD（科学気相成長法）により数10 $\mu$ m以上、更には50 $\mu$ m以上、より好適には100 $\mu$ m以上の厚みに形成し、鏡面研磨を行って表面の気孔率を1%以下、平坦度を20 $\mu$ m以下にすることができる。これは、大型支持体の全体を緻密な焼結体で作製するためのコストが高い場合、或いは緻密な焼結体を合成することが困難な場合、成形体と支持体とが反応しやすい場合に特に有効である。

#### 【0049】

支持体103の表面粗さRaは、3 $\mu$ m以下、特に2.5 $\mu$ m以下、更には2 $\mu$ m以下であることが好ましい。支持体103の表面粗さRaを上記のようにすることで圧電磁器の平坦度を更に向上させることができる。また、成形体と支持体との隙間が拡散経路となって成形体からの揮発成分が蒸発し、組成の面内バラツキを抑制することもできる。

#### 【0050】

本発明に用いる支持体は、アルミナ、ベリリア、ジルコニア、マグネシア、ムライト、スピネル、ビスマス層状化合物、タングステンブロンズ構造化合物、Pb系ペロブスカイト構造化合物、ニオブ系ペロブスカイト構造化合物及びタンタル系ペロブスカイト構造化合物のうち少なくとも1種を含有することが好ましい。

いずれも圧電体の同質の物質もしくは反応性に乏しい物質である。このような物質を支持体に用いることにより、圧電体の特性を安定化させることが可能となる。

#### 【0051】

複数の積層成形体を焼成する場合には、例えば図3に示したように、セッター111の上にスペーサ112を介して支持体113と成形体115を交互に重ねた構成を採用することができる。そして、支持体113の主面114の平坦度が20 $\mu$ m以下、主面114の表面部の気孔率が1%以下とすることで、図2の構

成を用いる場合と同じ効果を期待できる。また、このように成形体を複数配置することで、炉内の鉛雰囲気安定し、組成バラツキによる d 定数のバラツキをより低減する効果もある。

#### 【0052】

なお、積層成形体の焼成に先立ち、所望により、400℃～900℃程度の温度で脱脂処理を行っても良い。

#### 【0053】

得られた焼結体の表面に表面電極 6 を形成し、また、分極してアクチュエータを作製することができる。

#### 【0054】

このように、本発明の製造方法を採用すれば、厚みが 100  $\mu$ m 以下の薄層からなるアクチュエータを製造する時でも、焼成時の収縮バラツキによって生じる磁器の変形を小さくできるため、流路部材等の支持体に固定する際に発生する残留応力を小さくすることができ、アクチュエータを構成する多数の変位素子の d 定数が均一となり、変位量のバラツキを顕著に低減することができる。また、このようなアクチュエータをインクジェットプリンタの印刷ヘッドに適応することで、高速、高精度な特性を改善することができる。

#### 【0055】

##### 【実施例】

本発明のアクチュエータを作製し、これを図 1 (c) に示した支持体に接着した。

#### 【0056】

まず、原料として、純度 99% 以上のチタン酸ジルコン酸鉛を含有する圧電セラミックス粉末を準備した。

#### 【0057】

グリーンシートは、ジルコン酸チタン酸鉛を主成分とする圧電用のセラミック材の粉末に、水系バインダーとしてブチルメタクリレート、分散剤にポリカルボン酸アンモニウム塩、溶剤にイソプロピルアルコールと純水を各々添加して混合し、このスラリーをドクタープレート法によりキャリアフィルム上に、厚さ 30

$\mu\text{m}$ 程度のシート形状にて作製した。

#### 【0058】

また、各種の圧電用のセラミックス材の粉末を用いて同様にグリーンシートを作製した。また、内部電極ペーストを作製した。得られた内部電極ペーストを、グリーンシートの表面に厚さ  $4\mu\text{m}$  で印刷し、内部電極を形成した。更に、内部電極が印刷された面を上向きにしてグリーンシートの2枚の間に内部電極ペーストを印刷しないグリーンシート1枚ずつ積層し、加圧プレスし、積層成形体を得た。

#### 【0059】

この積層成形体を脱脂処理した後に、図2に示したように、積層成形体を支持体で挟持するようにして焼成炉に配置(d1)した。なお、試料No. 10は、多孔質支持体の上に厚さ  $600\mu\text{m}$  のスペーサを置いて、その上に他の多孔質支持体を載せ、上下の支持体の間に積層成形体を載置して焼成炉の中に配置(d2)した。

#### 【0060】

これを表1に示す温度、酸素99%以上の雰囲気中で2時間保持して焼成し、圧電振動層と内部電極とからなる積層体を作製した。それらの表面片側に表面電極を形成した。表面電極は、スクリーン印刷にてAuペーストを塗布し、一基板当たり600点形成した。これを  $600\sim 800^{\circ}\text{C}$  の大気中で焼付けた。

#### 【0061】

得られた圧電基板の気孔率は、焼結体を切断し、その断面を鏡面状態に加工した後、顕微鏡で観察し、所定の面積内にある気孔の面積を求めて算出した。また、支持体表面及び圧電基板表面の平坦度は、レーザー変位計を用いて圧電基板の一端から他端の間を走査して高さの変化を測定した。その際、表面電極の厚みを補正して算出した。

#### 【0062】

アクチュエータの  $d_{31}$  は、インピーダンスアナライザー（アジレントテクノロジー製4194A）を用いた共振法で10箇所測定し、その平均値を算出した。そして、 $d_{31}$  の平均値との差を算出し、その最大値を  $d_{31}$  バラツキとして百分率



で表示した。

#### 【 0 0 6 3 】

変位量の測定は、インクジェットプリンタ用印刷ヘッドとしての使用を考慮し、図 1 (c) に示したように、溝 3 a と隔壁 3 b を有する支持体 3 に、上記作製したアクチュエータ 1 を接着し、圧電振動層 4 を内部電極 5 と表面電極 6 で挟持する構造となるように変位素子 7 を作製した。そして、レーザードップラー変位計により支持体 3 側から溝 3 a を通してアクチュエータにレーザーストリークを照射し、支持体 3 の溝 3 a に当接しているアクチュエータの中心部及び周辺部 7 点を測定して変位を測定し、平均値を算出した。結果を表 1 に示した。

#### 【 0 0 6 4 】

また、アクチュエータの厚みはマイクロメータで測定し、支持体及びアクチュエータの表面粗さは触針式表面粗さ計で測定した。

#### 【 0 0 6 5 】

なお、支持体としては、表 1 に示したものをを用いた。

#### 【 0 0 6 6 】

【表 1】

試料 No.	支持体				製法		アクチュエータ					
	種類	平坦度	Ra	気孔率	焼成温度	配置	全体厚み	表面		d <sub>31</sub>		変位量
		μm	μm	%	°C		μm	平坦度	Ra	平均 pm/V	ハツキ %	nm
1	A	10	2	0.08	1000	d1	60	10	2.5	253	5	72
2	A	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	254	6	73
3	A	20	2	0.08	1000	d1	60	20	2.5	252	9	71
* 4	A	30	2	0.08	1000	d1	60	30	2.5	254	27	72
5	A	15	2	0.03	1000	d1	60	15	2.5	251	5	71
6	A	15	2	0.1	1000	d1	60	15	2.5	253	6	73
7	A	15	2	0.5	1000	d1	60	15	2.5	253	6	73
8	A	15	2	1	1000	d1	60	15	2.5	252	16	74
* 9	A	15	2	3	1000	d1	60	25	5	221	30	72
* 10	A	-	-	16	1000	d2	60	48	7	198	45	56
11	A	15	0.5	0.05	1000	d1	60	15	0.7	251	5	71
12	A	15	1	0.05	1000	d1	60	15	1.2	253	6	73
13	A	15	1.5	0.05	1000	d1	60	15	2	252	8	74
14	A	15	2.5	0.05	1000	d1	60	15	3	254	10	72
15	A	15	3	0.08	1000	d1	60	15	3.6	248	15	70
16	A	15	2	0.08	1000	d1	40	15	2.5	255	5	74
17	A	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	256	6	73
18	A	15	2	0.08	1000	d1	80	15	2.5	255	5	71
19	A	15	2	0.08	1000	d1	100	15	2.5	254	6	70
* 20	A	15	2	0.08	1000	d1	1000	15	2.5	253	5	20
21	A	15	2	0.08	900	d1	60	15	2.5	257	8	72
22	A	15	2	0.08	950	d1	60	15	2.5	253	7	73
23	A	15	2	0.08	1050	d1	60	15	2.5	254	5	74
24	B	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	255	5	72
25	C	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	256	6	73
26	D	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	254	4	74
27	E	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	255	5	70
28	F	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	255	5	73
29	G	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	253	6	72
30	H	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	253	5	73
31	I	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	251	6	74
32	J	15	2	0.08	1000	d1	60	15	2.5	254	4	74

\* 印は本発明の範囲外の試料を示す

- A: ジルコニア      F: ビスマス層状化合物(SrBi<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub>)  
 B: スピネル      G: タングステンブロンズ構造化合物(Sr<sub>2</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub>)  
 C: マグネシア      H: Pb系ペロブスカイト構造化合物(PZT)  
 D: ムライト      I: Nb系ペロブスカイト構造化合物(NaNbO<sub>3</sub>)  
 E: アルミナ      J: Ta系ペロブスカイト構造化合物(LiTaO<sub>3</sub>)

## 【0067】

本発明の試料No. 1～3、5～8、11～19及び21～32は、d<sub>31</sub>のハツキが15%以下、変位量が70nm以上であった。

## 【0068】

一方、支持体の平坦度が30μmと大きく本発明の範囲外の試料No. 4は、

d<sub>31</sub>のバラツキが27%と大きかった。

【0069】

また、全体の厚みが1000  $\mu$ m (1mm) と大きく本発明の範囲外の試料No. 20は、変位が20 nmと小さく圧電特性が非常に低いものであった。

【0070】

さらに、支持体の気孔率が3%と大きく本発明の範囲外の試料No. 9は、d<sub>31</sub>のバラツキが30%と大きかった。

【0071】

また、スペーサを用いて支持体間の空間に成形体を載置した本発明の範囲外の試料No. 10は、平坦度が48  $\mu$ mと大きかった。

【0072】

【発明の効果】

本発明は、表面部の気孔率を1%以下に制御した支持体が成形体に接触するように、具体的には一対の支持体で成形体を挟持するように配置して焼成することにより、厚み100  $\mu$ m以下の薄層の試料でも平坦度が20  $\mu$ m以下に制御可能となり、支持体に接合した際に発生する残留応力を低減し、圧電体の変形を防止するとともに、同一基板内に設けられた複数の圧電素子の変位バラツキを容易に制御でき、インクジェットプリンタの印刷ヘッドとして好適に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明のアクチュエータを示すもので、(a)は概略断面図、(b)は概略平面図、(c)は支持基板を接合した時の概略断面図である。

【図2】

本発明のアクチュエータの製造方法を説明するための概略断面図である。

【図3】

本発明のアクチュエータの他の製造方法を説明するための概略断面図である。

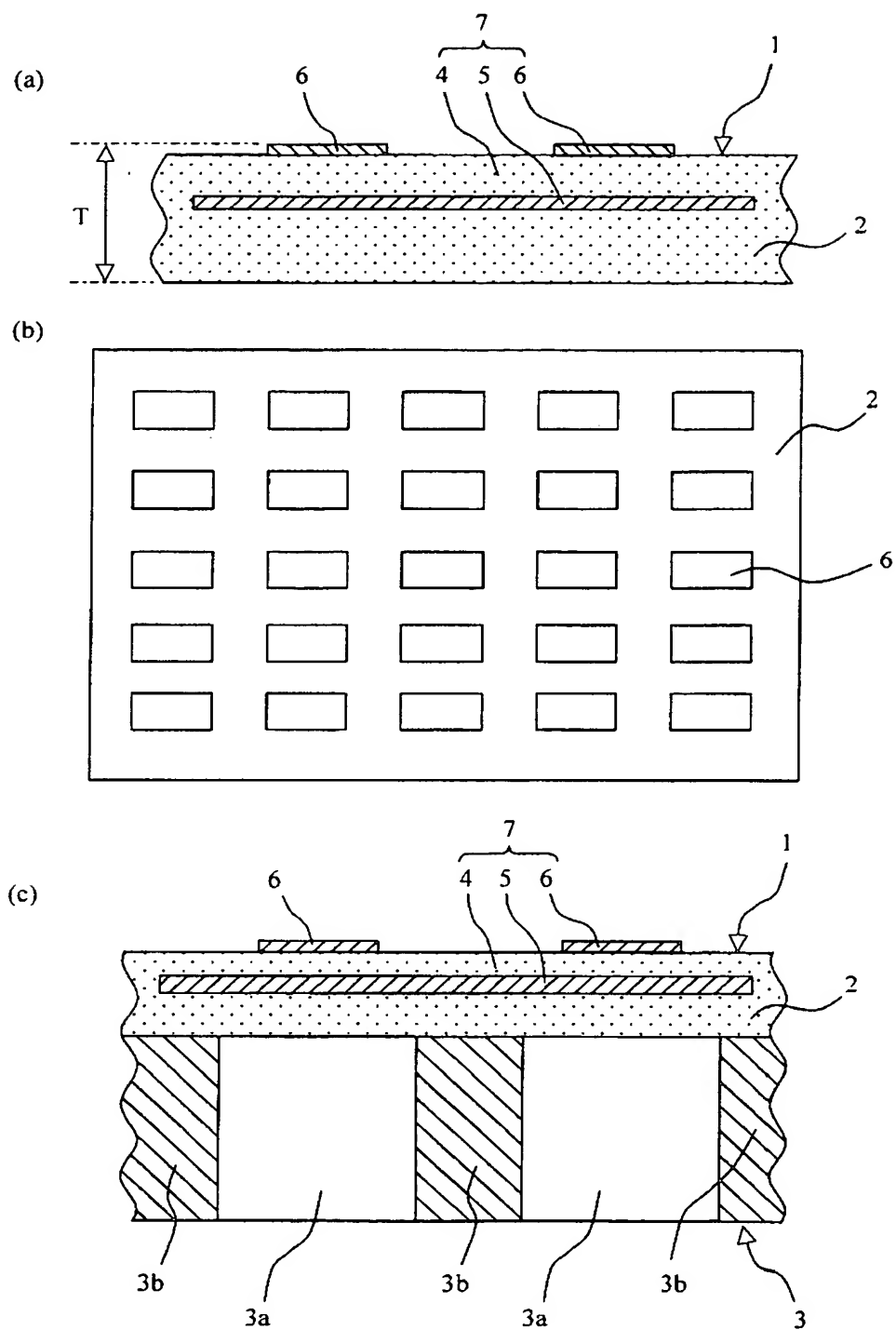
【符号の説明】

1・・・アクチュエータ

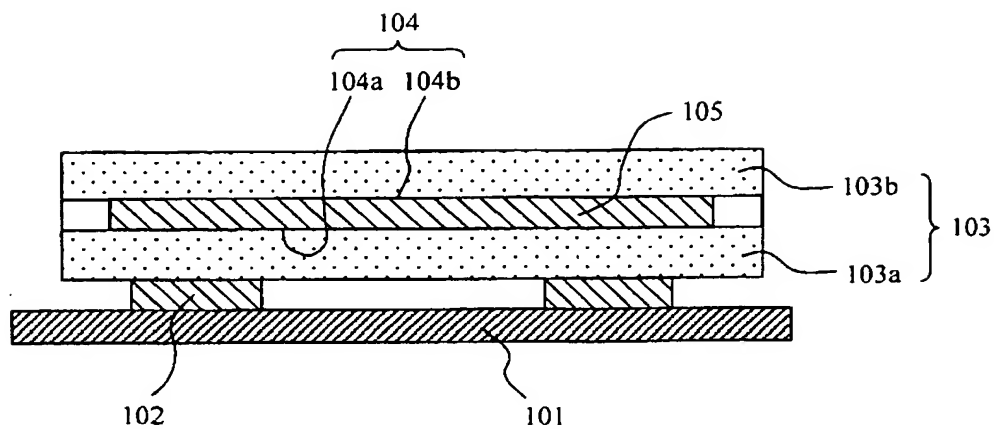
- 2 . . . 圧電基板
- 4 . . . 圧電振動層
- 5 . . . 内部電極
- 6 . . . 表面電極
- 7 . . . 変位素子
- T . . . アクチュエータの厚み
- 1 0 1、1 1 1 . . . セッター
- 1 0 2、1 1 2 . . . スペーサ
- 1 0 3、1 0 3 a、1 0 3 b、1 1 3 . . . 支持体
- 1 0 4、1 0 4 a、1 0 4 b、1 1 4 . . . 主面
- 1 0 5、1 1 5 . . . 成形体

【書類名】 図面

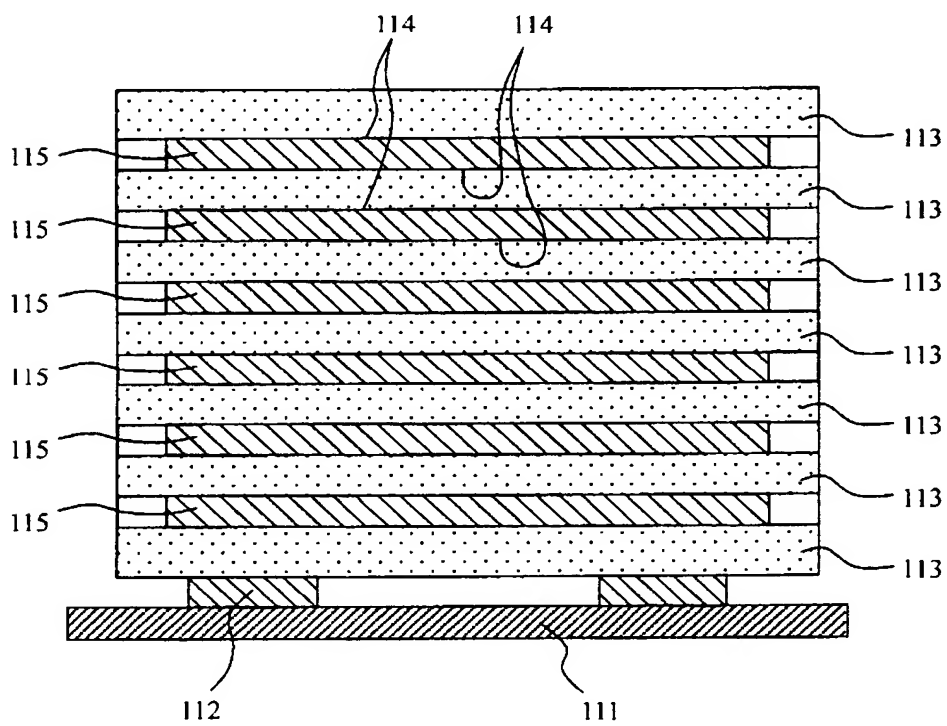
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 平坦度が小さく、 $d$  定数の面内バラツキが小さいアクチュエータ及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 圧電磁器からなる圧電基板 2 と、該圧電基板 2 の主面の一部に設けられた表面電極 6 と、該圧電基板 2 の内部に設けられた内部電極 5 とを具備してなるアクチュエータ 1 であって、前記圧電基板 2 の主面の平坦度が  $20\ \mu\text{m}$  以下、全体の厚み  $T$  が  $100\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 4 1 4 6 0
受付番号	5 0 2 0 1 7 7 8 8 9 3
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 4 年 1 1 月 2 6 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年11月25日
-------	-------------

次頁無



特願 2 0 0 2 - 3 4 1 4 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 6 3 3 ]

1. 変更年月日      1 9 9 0 年    8 月 1 0 日  
  [変更理由]      新規登録  
                  住 所      京都府京都市山科区東野北井ノ上町 5 番地の 2 2  
                  氏 名      京セラ株式会社
  
2. 変更年月日      1 9 9 8 年    8 月 2 1 日  
  [変更理由]      住所変更  
                  住 所      京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地  
                  氏 名      京セラ株式会社